

LASER DEVICE

Publication number: JP2002252401

Publication date: 2002-09-06

Inventor: MOGI TETSUYA; OKUNO MASAFUMI; WATABE AKIRA; TANAKA YUICHI; TSUBOYA HIROSHI

Applicant: OYOKODEN LAB CO LTD; KIKUCHI KAZURO

Classification:

- international: G02B6/42; G02B7/00; H01S3/098; H01S3/10; G02B6/42; G02B7/00; H01S3/098; H01S3/10; (IPC1-7): H01S3/098; G02B6/42; G02B7/00; H01S3/10

- european:

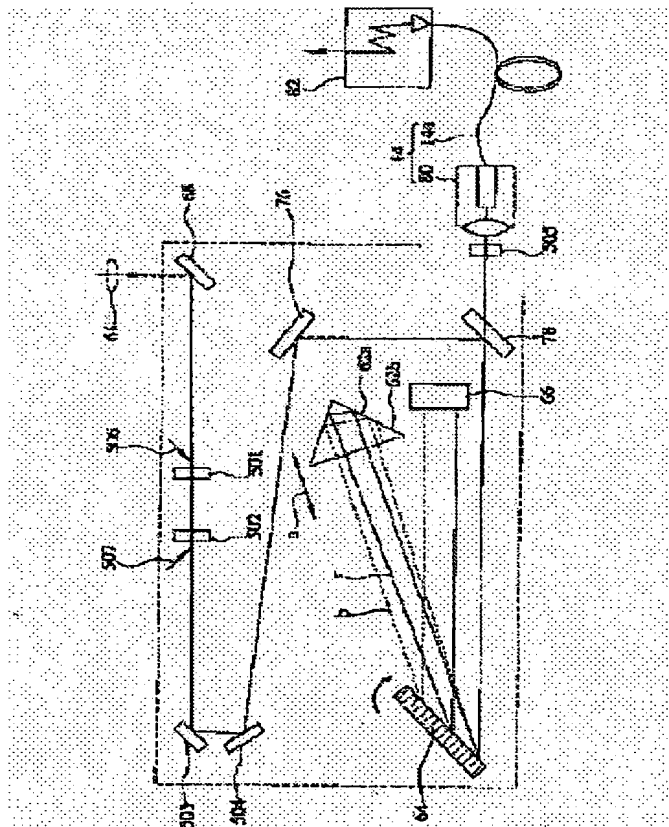
Application number: JP20010047001 20010222

Priority number(s): JP20010047001 20010222

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2002252401

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized and stable laser device which can transmit generated ultrashort pulse beams by an optical fiber without a problem of a pulse extension, and decreases a load of optical axial regulation. **SOLUTION:** A laser device is constituted by mounting a laser oscillator 10, a group-velocity dispersion control part 12, and a transmission part 14 to the same case. For controlling a group-velocity dispersion of pulse beams outputted from the laser oscillator, a dispersion control unit is provided. A beam expander is disposed in an optical path between the laser oscillator and the dispersion control unit. One-fourth wavelength plate is disposed in a front stage of a collimator of the transmission part. The laser oscillator, the group-velocity dispersion control part and one end of a fiber are fixed onto a sheet of support plate 16. On the front side and the reverse side of the support plate, the laser oscillator and the group-velocity dispersion control part are provided, respectively.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-252401
(P2002-252401A)

(43)公開日 平成14年9月6日(2002.9.6)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード (参考)
H 0 1 S	3/098	H 0 1 S 3/098	2 H 0 3 7
G 0 2 B	6/42	G 0 2 B 6/42	2 H 0 4 3
	7/00	7/00	F 5 F 0 7 2
H 0 1 S	3/10	H 0 1 S 3/10	Z

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願2001-47001(P2001-47001)

(22)出願日 平成13年2月22日(2001.2.22)

(71)出願人 391023312
株式会社応用光電研究室
東京都杉並区和田1丁目13番23号

(71)出願人 597173831
菊池 和朗
神奈川県横浜市港北区新吉田町1139-1
フォルム綱島クレスタワーズ1304

(72)発明者 茂木 哲哉
埼玉県戸田市新曽南3丁目1番23号 株式
会社応用光電研究室内

(74)代理人 100085419
弁理士 大垣 孝

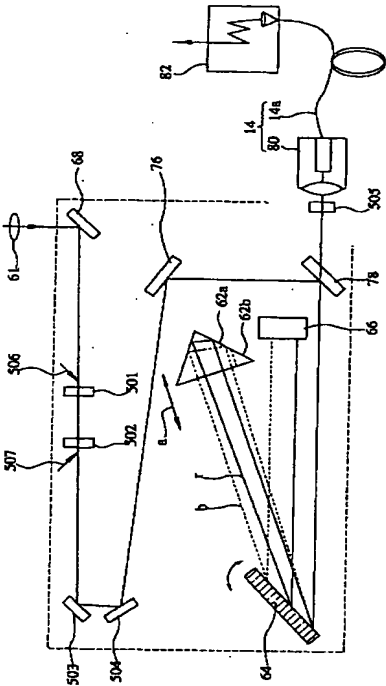
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ装置

(57)【要約】

【課題】 生成した超短パルス光をパルス拡がりの問題無く、光ファイバによって伝送することを可能にすると共に、光軸調整の負担を軽減した、小型で安定なレーザ装置を提供する。

【解決手段】 レーザ装置は、レーザ発振器10と群速度分散制御部12と伝送部14とを同一筐体16に実装して構成されている。レーザ発振器から出力されたパルス光の群速度分散を制御するもので、分散制御ユニットを有する。レーザ発振器と分散制御ユニットの間の光路にビームエキスパンダを配置する。伝送部のコリメータの前段には4分の1波長板を配置する。レーザ発振器と群速度分散制御部とファイバの一端とは、1枚の支持板16上に固定されている。この支持体の表側および裏側のそれぞれに、レーザ発振器および群速度分散制御部が設けられている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ発振器と、前記レーザ発振器から出力された光の群速度分散を制御する群速度分散制御部と、前記群速度分散制御部から出力された光を伝送する伝送部とを有するレーザ装置において、前記群速度分散制御部は、回折格子などの波長分波素子と前記波長分波素子により分波された各波長成分の光路間に光路差をつける少なくとも1つの反射体とを有する分散を制御することができる分散制御ユニットを有しており、前記レーザ発振器と前記分散制御ユニットとの間の、前記レーザ発振器から出力された光の光路に、ビームエキスパンダを配置し、前記レーザ発振器と、前記群速度分散制御部と、前記伝送部の少なくとも一部とを支持体の実装して同一筐体に収めたことを特徴とするレーザ装置。

【請求項2】 請求項1に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器は、パルス光を生成するものであり、前記群速度分散制御部は、前記レーザ発振器から出力されたパルス光の群速度分散を制御するものであり、前記伝送部は、少なくともコリメータと光ファイバを構成要素として有しており、前記群速度分散制御部によって群速度分散が制御されたパルス光を伝送するためのものであり、前記レーザ発振器と、前記群速度分散制御部と、前記伝送部の一端とが、1つの支持体上に固定されており、前記コリメータが、前記群速度分散制御部の光軸と調芯された状態で前記支持体上に固定されており、前記伝送部の光ファイバの少なくとも一部が前記筐体の外部に導出されていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項3】 請求項1または2に記載のレーザ装置において、前記群速度分散制御部の分散制御ユニットと前記伝送部の間の光路上もしくは前記伝送部に4分の1波長板を配置したことを特徴とするレーザ装置。

【請求項4】 請求項1～3のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記ビームエキスパンダが少なくとも2つのレンズから構成されていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項5】 請求項4に記載のレーザ装置において、前記ビームエキスパンダを構成する少なくとも2つのレンズのうちの2つのレンズのうち、前記レーザ発振器側のレンズは、単レンズまたは非球面レンズあるいは組み合わせレンズで構成されたネガティブレンズ又はポジティブレンズであり、前記分散制御ユニット側のレンズは、単レンズまたは非球面レンズあるいは組み合わせレンズで構成されたポジティブレンズであることを特徴とするレーザ装置。

【請求項6】 請求項1～5のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器は、パルス光を生成するものであり、前記群速度分散制御部は、前記レーザ発振器から出力されたパルス光の群速度分散を制御するものであり、前記伝送部は、少なくともコリメータと光ファイバを構成要素として有しており、前記群速度分

散制御部によって群速度分散が制御されたパルス光を伝送するためのものであり、前記レーザ発振器と、前記群速度分散制御部とが、1つの支持体上に固定されており、前記筐体の一部に光ファイバ接続部が設けられていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記支持体が、緩衝体を介して前記筐体の実装されており、前記緩衝体は筐体外部からの振動や衝撃が前記支持体に伝わるのを大幅に軽減することができる緩衝部と、前記筐体と前記支持体の少なくとも一方に前記緩衝体を固定することができる固定部とを有していることを特徴とするレーザ装置。

【請求項8】 請求項1～7のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器、群速度分散制御部および伝送部を構成する構成要素のうちの非可動光学系のねじ部を除く各支持部の材料が、前記支持体の主要部分と同じ材料であることを特徴とするレーザ装置。

【請求項9】 請求項1～8のいずれか1項に記載のレーザ装置において、筐体の寸法が、長さ656mm以下、高さ508mm以下、幅234mm以下で、重量が50kg以下であることを特徴とするレーザ装置。

【請求項10】 請求項1～9のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器から出力されるレーザ光が直線偏波光であり、前記伝送部が前記4分の1波長板を含めて少なくとも2つの4分の1波長板と少なくとも1つのコリメータと少なくとも1本の光ファイバを有しており、前記伝送部に入射した直線偏波のレーザ光が前記2つの4分の1波長板のうちの1つ（以下、第1の4分の1波長板ともいう）に入射して円偏波に変換されて前記コリメータを通して前記光ファイバの入力側端部に入射して光ファイバ内を伝送され、前記光ファイバの出力側端部から前記第1の4分の1波長板とは別の4分の1波長板（以下、第2の4分の1波長板ともいう）に入射することを特徴とするレーザ装置。

【請求項11】 請求項1～10のいずれか1項に記載のレーザ装置において、モード同期発振状態を検出する光検出装置を有し、モード同期発振が停止した場合には、前記光検出装置の検出信号に対応してレーザ発振器を構成するミラーの少なくとも一つを移動させる駆動機構を駆動させ、モード同期発振を開始させる機能を有することを特徴とするレーザ装置。

【請求項12】 請求項1～11のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器と前記群速度分散制御部とが、前記支持体の一方の面と他方の面にそれぞれ固定されていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項13】 請求項1～12のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記群速度分散制御部は、回折格子と第1反射体および第2反射体を具備しており、前記回折格子は、前記レーザ発振器により供給されたパルス光の各波長成分を、波長に応じた方向へそれぞれ回折さ

せるものであり、前記第1反射体、前記回折格子を経て第1反射体に入射したパルス光を、該パルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて前記回折格子へ戻すものであり、前記第2反射体は、前記第1反射体および回折格子を経て第2反射体に入射したパルス光を、該パルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて前記回折格子へ戻すものであり、前記第1および第2反射体の各々が、互いに垂直な2つの反射面を有するプリズムであって、前記第1反射体としてのプリズムの2つの反射面の双方に垂直な面と、前記第2反射体としてのプリズムの2つの反射面の双方に垂直な面とが互いに垂直になるように前記第1反射体と前記第2反射体とを配置してあり、前記第1反射体と前記回折格子との間の距離が可変にできるように、前記第1反射体が、第1反射体へ前記回折格子からの光が入射し、その光を全て、入射した光と平行を保つ方向に向かい反射できるような移動を可能にする移動機構を具えていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項14】 請求項13に記載のレーザ装置において、前記プリズムの少なくとも1つの断面が三角形の一部を切り欠かれた形状であることを特徴とするレーザ装置。

【請求項15】 請求項7～14のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記緩衝部が固定部と一体成形されており、前記固定部はねじなどの固定手段を有しており、前記支持体は、前記固定手段が前記支持体に挿入して取り付けられる部分に、前記固定手段の当該外形寸法よりも大きい孔を有していることを特徴とするレーザ装置。

【請求項16】 請求項13～15のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記第1反射体と前記回折格子との間の距離が可変にできるように、前記第1反射体が、前記回折格子から前記第1反射体への出射光の光軸に沿う直線方向への移動を可能にする移動機構を具えていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項17】 請求項13～16のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記回折格子はその入射パルス光に対する角度を、前記レーザ発振器から出力されるパルス光の波長を指標として変化させることができる構造になっていることを特徴とするレーザ装置。

【請求項18】 請求項13～17のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記群速度分散制御部が電気的手段により入射光に対して回折格子と同じ作用を施す素子を用いたものであることを特徴とするレーザ装置。

【請求項19】 請求項16～18のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器、群速度分散制御部および伝送部を構成する部品の前記支持体に接続される側に位置決め用の凸部または凹部が設けられており、これら凸部または凹部が組み合わされる凹部または凸部を、前記支持体の所定の位置に形成してあることを特徴とするレーザ装置。

【請求項20】 請求項18または19に記載のレーザ装置において、前記電気的手段により入射光に対して回折格子と同じ作用を施す素子が音響光学素子であることを特徴とするレーザ装置。

【請求項21】 請求項18～20のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記群速度分散制御部が、音響光学素子と少なくとも2枚の反射板とを有し、前記音響光学素子に入射した入射光は、前記音響光学素子を透過した後、前記2枚の反射板のうちの一方の反射板である第1の反射板に進んでそこで反射され、前記音響光学素子を透過して前記2枚の反射板のうちの他方の反射板である第2の反射板に進んでそこで反射され、前記の入射光の光路を逆方向に進行して前記音響光学素子から前記第1の反射板、前記音響光学素子へと進行して、前記音響光学素子に入射したときと同じ光路を入射したときとは逆方向に出射するように前記音響光学素子と少なくとも2枚の反射板とが配置されており、前記音響光学素子は、入射光を透過させることができるとともに該透過する入射光に対して音響光学効果を及ぼして入射光を分光することができることを特徴とするレーザ装置。

【請求項22】 請求項18～21のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記群速度分散制御部に入射した光と前記前記群速度分散制御部から出射する光が空間的に異なる位置を通ることを特徴とするレーザ装置。

【請求項23】 請求項19～22のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記レーザ発振器におけるレーザビームの前記支持体表面からの高さが18mm以下であることを特徴とするレーザ装置。

【請求項24】 請求項23に記載のレーザ装置において、前記光路の少なくとも一部が前記支持体に形成された凹部内にあることを特徴とするレーザ装置。

【請求項25】 請求項21～24のいずれか1項に記載のレーザ装置において、前記光ファイバの出力側端部近傍の長さ1mm以上の部分のコア直径が漸増した構造になっていることを特徴とするレーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、超短パルス光を、顕微鏡の光源、2光子吸収リソグラフィーの光源として光ファイバを介して出力することができる新規な可搬型レーザ装置に関する。さらに具体的には、前記パルス光のパルス幅が、たとえば、100フェムト秒のように狭い超短パルス光のレーザ光を、光ファイバを介して、パルス幅の拡がりなく出力することができる、単一の筐体の実装されたレーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、高出力固体レーザの出力は、そのまま、空間にビームとして出力されることが多い。たとえば、パルス幅が100フェムト秒というように極めて狭い光パルス、いわゆるフェムト秒光パルス、を出力

するモード同期チタンサファイアレーザのビームも、従来はそのまま、空間に出力されていた。

【0003】しかし、最近の、顕微鏡光源への応用や、プローブ顕微鏡への応用などに当たっては、フェムト秒光パルスを光ファイバ（以下、単にファイバともいう）で伝送させる必要がある。一方、フェムト秒領域の短い時間幅の光パルスは、同一の位相を保って伝搬する多数の波長によって構成されている。すなわち、ある波長幅をもち、長波長から短波長に分布し、同一位相で進行する波長群の光によって、フェムト秒領域の時間幅をもつ光パルスは、成り立っている。たとえば、中心波長800nmで、時間幅が光強度の半値全幅で100フェムト秒以下の光パルスの波長幅は、波長あたりの光強度の半値全幅では10nm以上に及ぶ。しかし、たとえば、石英で構成された光ファイバの内部は正の群速度分散を持つため、光パルスの長波長成分の方が短波長成分に比べて速く進む。そのため、たとえファイバの長さを数メートルに短くしたとしても、フェムト秒パルスはたちまちピコ秒パルスにまで広がってしまう。

【0004】この課題を解決するには、光パルスをファイバに入射する前に、ファイバ内部の正の群速度分散と絶対値が同じ負の群速度分散を持つ群速度分散制御装置に光パルスを通して、パルス幅を広げておけば良い。すなわち、群速度分散制御装置により、長波長成分を短波長成分に対して遅らせた状態をつくってから、パルス光を光ファイバ中に導入する。このようにすれば、ファイバの終端付近で、パルス幅をフェムト秒に戻すことができる。

【0005】このように、超短パルス光を出力する従来のレーザ装置は、レーザ発振器、群速度分散制御装置および光ファイバを組み合わせて構成されている。しかしながら、上述のレーザ発振器および群速度分散制御装置は、その調整作業の難しさや使用環境下での安定性確保の難しさなどの理由から、可搬型の単一の筐体の実装されたものは困難とされ、レーザ装置と群速度分散制御装置などのように、それぞれ別々のケースに入れられて提供される個別のユニットとなっていた。このような、光ファイバを含めた各ユニットは、防振テーブル上の光学ベンチ上に配置され、これらユニット間の光軸調整を精密に行うことで、所要の光学系が実現している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このため、従来のレーザ装置では、これを使用するまでに多大な時間を光軸調整に費やさねばならない。特に、群速度分散制御装置と光ファイバとの結合部では、空間で伝送されたビームを、約5 μ mや約10 μ mの径のように細い径のコアに結合させる必要がある。この光軸調整の難易度は非常に高い。すなわち、この光軸調整の要求精度は、 $\pm 10 \mu$ rad以下である。この角度範囲は、別の表現をすれば、1km先の ± 1 cmに相当する広がりである。これ

は、温度変化に起因して容易に動いてしまう値である。装置中、このような角度精度を要求する部分が1か所でもあれば、装置全体にわたる要求精度はこの値に帰結する。このため、装置の安定性を維持するには、大がかりな防振テーブルを用いる必要があり、さらには、防振テーブルを含む部屋全体の温度管理が不可欠な要件とされ、装置全体もきわめて大きなものとなり、装置全体のコストも極めて高価になっている。

【0007】従って、従来より、生成した超短パルス光を、パルス拡がりの問題無く、光ファイバによって伝送することが可能であると共に、光軸調整の負担が軽減された、小型で、安定した、使い易いレーザ装置の出現が望まれていた。

【0008】本発明は、上記のような従来の課題を解決し、可搬型の、小型で、安価な、しかも、パルス幅が、たとえば100フェムト秒の如く極めて狭いパルス光のレーザ光をパルス幅の拡がりがなく光ファイバから出力することができる、単一の筐体の実装された新規のレーザ装置を提供するものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】この出願に係る発明のレーザ装置は、レーザ発振器と群速度分散制御部と伝送部とで構成されるレーザ装置であって、以下のような独特な構成を有している。すなわち、前記群速度分散制御部は、回折格子などの波長分波素子と前記波長分波素子により分波された各波長成分の光路間に光路差をつける少なくとも1つの反射体とを有する分散を制御することができる分散制御ユニットを有しており、前記レーザ発振器と前記分散制御ユニットとの間の、前記レーザ発振器から出力された光の光路にビームエキスパンダを配置し、レーザ発振器から出力されたパルス光のビーム幅をビームエキスパンダを用いて拡げ、その後このパルス光の群速度分散を制御するようにし、前記群速度分散制御部の分散制御ユニットと前記伝送部の間の光路上もしくは前記伝送部に4分の1波長板を配置し、レーザ発振器と前記レーザ発振器から出力された光の群速度分散を制御する群速度分散制御部と前記群速度分散制御部から出力された光を伝送する伝送部の一部とを同一筐体に収めた小型で可搬型の新規なレーザ装置として構成している。

【0010】そして、前記ビームエキスパンダが少なくとも2つのレンズから構成されていることを特徴としている。

【0011】前記ビームエキスパンダを構成する少なくとも2つのレンズのうちの2つのレンズのうち、前記レーザ発振器側のレンズは、ポジティブレンズでもよくネガティブレンズでもよく、すなわち、単レンズでもよく、非球面レンズでもあるいは組み合わせレンズでもよく、たとえば平凸レンズまたは平凹レンズまたは非球面凸レンズのいずれかあるいはそれらの組み合わせで構成され

たレンズを用いることができ、前記分散制御ユニット側のレンズは、ポジティブレンズであり、単レンズでも非球面レンズでもあるいは組み合わせレンズでもよく、たとえば平凸レンズまたは非球面凸レンズまたはそれらの組み合わせで構成されたレンズを用いることができる。

【0012】そして、このレーザ装置の効果をさらに大きくするため、種々の好ましい形態を付加することが出来る。以下好ましい例を具体的に説明する。

【0013】この発明の好ましい例では、レーザ発振器は、パルス光を生成するものである。また、この発明では、群速度分散制御部は、レーザ発振器から出力されたパルス光の群速度分散を制御するものである。また、伝送部は、少なくともコリメータとシングルモードファイバ（以下、SMFともいう）や偏波保持ファイバ（以下、PMFともいう）などの光ファイバとにより構成されていて、群速度分散制御部によって群速度分散が制御されたパルス光を伝送するためのものである。

【0014】さらに、好ましい例を具体的に説明すると、レーザ発振器と群速度分散制御部と伝送部の一端とが、筐体の内部に設けられた支持体上に固定されている。そして、伝送部の非固定部分が筐体の外部に導出されている。

【0015】この発明の好ましい例では、レーザ発振器と群速度分散制御部と伝送部の一端とが共通の一つの支持体上に固定されている。各光学ユニット間の光軸調整は既に完了した状態になされている。そして、これら各光学ユニットは支持体と共に、一つの筐体の内部に収められている。よって、各光学ユニットがワンパッケージ化（一体化）された状態で提供される。このような一体化構造によれば、各光学ユニットの温度環境が共通化される。しかも、各光学ユニットを光学ベンチ上に配置して、光軸調整を行う手間がいらぬ。ユーザは、改めて光軸調整を行う必要がなく、直ちにパルス拡がりの無い短パルス光を使用することができる。

【0016】この発明のレーザ装置において、好ましくは、伝送部がコリメータを具えていて、このコリメータに光ファイバが接続されており、このコリメータが、群速度分散制御部の光軸と調芯された状態で支持体上に固定されていると良い。

【0017】この発明のレーザ装置はこのように構成されるので、群速度分散制御部から出力されたパルス光は、コリメータを経て、光ファイバ中に導入され、筐体から外部に導出されている伝送部の一部としての光ファイバの端末部から出力される。

【0018】また、この発明のレーザ装置において、レーザ発振器、群速度分散制御部、伝送部の各々において、各構成部品の位置関係が熱の影響によって変化しないことが好ましく、さらに、レーザ発振器、群速度分散制御部、伝送部の各々の間の相対的位置関係も熱の影響によって変化しないように構成することが好ましい。そ

の一つの方法として、支持体としての材料が熱膨張係数の小さい材料、例えばゼロデュア（ショット社の商品名）のような熱膨張係数が $-0.09 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 程度以下のものを用いることができる。ただし、ゼロデュアは一種のガラスなので加工が難しくまた価格も高い。従って、他の方法として、カーボン複合体、あるいは、アルミニウムやアルミニウム合金（以下、アルミニウムで代表して説明する）のような熱伝導性がよく、加工がしやすく、錆びにくく、軽くて安価な材料を用いるのが好ましい。

【0019】一方、ステンレスはアルミニウムに比較して熱膨張係数が小さく錆びにくいだが、熱伝導性はアルミニウムほどよくない。このステンレスの特性は、熱分布の不均一を生じ易いため、全体にわたって機械的歪みを発生しやすい。

【0020】アルミニウムは軽量であると共に、熱伝導率が高いので、熱が全体にわたって拡がりやすく、部分的に熱膨張が生じない。よって、支持体の変形を抑制する。

【0021】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、支持体の内部に冷却水を流すための水路が設けられていると良い。支持体自体の放熱作用が促進されて、支持体内部における熱の蓄積が抑制される。

【0022】また、この発明のレーザ装置においては、支持体が筐体の内部に設けられていて、伝送部の非固定部分がこの筐体の外部に導出されていると良い。

【0023】また、伝送部は、筐体の一部に着脱自在に設けた接続部を有しており、前記接続部に伝送部の一部としての光ファイバを接続するようにしても良い。

【0024】また筐体により覆われているので、レーザ発振器や群速度分散制御部などの光学ユニットが外部から保護される。

【0025】このとき、支持体が、緩衝体を介して筐体に結合しているのが好ましい。このように構成することによって、適切な防振構造が得られ、光軸のずれが生じにくくなる。

【0026】また、この発明の実施にあたっては、緩衝体の主要部分を、たとえば、シリコーンゴム系の材質を用いた物質、例えばゲル状物質でつくられた振動吸収体とするのが好適である。

【0027】また、この発明の好ましい例としては、前記緩衝体が、少なくとも、筐体外部からの振動や衝撃が支持体に伝わるのを大幅に軽減することができる緩衝部と筐体と支持体の少なくとも一方に緩衝体を固定することができる固定部で構成されており、前記緩衝部がシリコーンゴムでつくられている。たとえば、この緩衝体を支持体や筐体に固定することができるネジ部を有する前記固定部が前記緩衝部と一体に成型されており、支持体と筐体の間にこのシリコーンゴムでできた緩衝部を介させるとともに、緩衝体に一体的に取り付けられている

例えばネジ部を有する2つの固定部のネジ部を、支持体と筐体に設けた穴部にそれぞれ差し込んで、ナットで締め付けてしっかりと固定すると、小型で耐衝撃性の優れた、持ち運びに便利なレーザ装置をつくることができる。

【0028】このとき、前記支持体と筐体に設けられた穴部を前記ネジ部の径より大きな内径に形成しておくことで固定に便利である。

【0029】さらに、この発明のレーザ装置において、好ましくは、レーザ発振器をモード同期固体レーザ、たとえば、モード同期チタンサファイアレーザとすると良い。

【0030】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、レーザ発振器に励起光を供給するための励起光源をさらに具えると良い。例えば、励起光源をダイオード励起の固体レーザとするのが好適である。

【0031】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、レーザ発振器、群速度分散制御部および伝送部を構成する光学系を固定支持する支持部（ただし、ネジ部を除いて）の少なくとも主要部分の材料として、支持体と同じ材料が用いられていると良い。このような構成によれば、熱サイクルを受けても、各部品間の熱膨張の差が累積することがない。従って、光路がずれない。

【0032】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、レーザ発振器と群速度分散制御部とが、支持体の表と裏にそれぞれ装着されていると良い。レーザ発振器および群速度分散制御部を、このように支持体上に配置すれば、支持体の小型化および軽量化が可能になる。また、小型化により、装置全体の温度の不均一分布が少なくなる。たとえ、多少の温度不均一分布が残ったとしても、支持体の表と裏とで受ける熱による影響の差が小さくなり、それによる光路のずれは生じにくくなる。さらに、小型化により、熱膨張による伸び縮みの絶対値が小さくなる。

【0033】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、支持体の一方の側に装着されたレーザ発振器から出力されたパルス光を、支持体に設けられた貫通孔を通して、支持体の他方の側に装着された群速度分散制御部に供給する構成にすると良い。

【0034】支持体の内部は、比較的溫度が一定であり、空気擾乱の影響も少ないので、光ビームが安定する。

【0035】また、この発明のレーザ装置の好適例によれば、群速度分散制御部は、回折格子、第1反射体および第2反射体を具えているのが好ましい。上述の回折格子は、レーザ発振器により供給されたパルス光の各波長成分を、波長に応じた方向へそれぞれ回折させるものである。また、第1反射体は、回折格子を経て入射したパルス光を、このパルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて回折格子へ戻すものである。さらに、第2反射体

は、第1反射体および回折格子を経て入射したパルス光を、このパルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて回折格子へ戻すものである。

【0036】レーザ発振器から供給されるパルス光は、回折格子に入射する。パルス光の各波長成分は、波長に応じた方向にそれぞれ回折される。パルス光の各波長成分は、所定位置に配置された第1反射体に入射し、それぞれ入射方向に平行な方向に反射されるため、回折格子に戻される。

【0037】続いて、パルス光は、回折格子により第2反射体に向けて回折される。第2反射体では、パルス光の各波長成分がそれぞれ入射方向に平行な方向に反射される。従って、パルス光は回折格子に戻される。その後、パルス光は、往路と平行な光路を辿って、回折格子、第1反射体および回折格子の順に伝搬される。

【0038】よって、パルス光の各波長成分の間には、回折格子と第1反射体との間の距離に応じた光路差が生じる。この装置内では、長波長成分が短波長成分に比べて長い距離の光路を伝搬する。そのため、パルス光がこの群速度分散制御部を通過すると負の群速度分散を受けて、相対的に、パルスの後端近くが長波長側シフトした成分となり、パルスの前端近くが短波長側シフトした成分となる。このパルス光が伝送部の光ファイバに導入されるので、パルス光は伝送部における正の群速度分散を受けて、伝送部の光ファイバから出力される時には所望の極めて狭いパルス幅のパルス光を出力することができる。

【0039】この発明のレーザ装置の好適例によれば、第1反射体と回折格子との間の距離が可変にできるように、第1反射体を移動させる駆動機構が設けられている。

【0040】そして、好ましい例においては、第1反射体を光軸に沿う直線方向へ移動させることができる移動機構を具えている。

【0041】このような移動機構を具えるので、群速度分散制御部内部の群速度分散を、伝送部を構成する光ファイバの長さに合わせて調節することができる。従って、光ファイバを交換したときも、アライメントをやり直す必要がないようにすることができる。

【0042】また、この発明のレーザ装置の好適例によれば、第1および第2反射体の各々が、互いに垂直な二つの反射面を有したプリズムであって、第1反射体としてのプリズムの二つの反射面の双方に垂直な面と、第2反射体としてのプリズムの二つの反射面の双方に垂直な面とが互いに垂直になるように第1および第2反射体を配置するとよい。

【0043】このように構成してあるので、パルス光の入射光路および出射光路は互いに分離される。従って、ビームスプリッタなどの分波器を用いる必要がない。

【0044】また、この発明のレーザ装置の好適例によ

れば、第1反射体の移動機構の制御に対して、伝送部から出力されたパルス光のパルス幅を指標とした負帰還を行う。

【0045】このようにして、この発明のレーザ装置においては、伝送部から出力されるパルス光のパルス幅がもっとも狭くなるように第1反射体の位置を調整することができる。

【0046】また、この発明のレーザ装置の好適例によれば、回折格子の入射パルス光に対する角度を、レーザ発振器から出力されるパルス光の波長を指標として変化させることができるように構成すると良い。このようにして、パルス光の波長を変化させたときに第1反射体と第2反射体のビーム経路の最適な位置をビームが通過するように回折格子の入射パルス光に対する角度を自動的に調整することができる。したがって、パルス光の波長を変化させても、群速度分散制御部を通過したパルス光が波長によらず一定の強度で伝送部に供給され、伝送部の出力が変動することがないレーザ装置を提供することができる。

【0047】このように、パルス光の波長に合わせて回折格子を回転させるので、パルス光の波長が変化しても、群速度分散制御部のアライメントをやり直す必要がない。

【0048】そして、前記第1反射体と第2反射体としての各プリズムのうちの少なくとも1つの前記プリズムの少なくとも1つの断面を、三角形の一部を切り欠かれた形状にすることにより、一層の小型化を進め、かつ群速度分散制御量を拡大することができる。

【0049】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、レーザ発振器、群速度分散制御部および伝送部を構成する部品の支持体に接続される側に位置決め用の凸部または凹部が設けられており、これらの凸部または凹部と組み合わせることができる凹部または凸部を、支持体の所定の位置に形成してあると良い。

【0050】この構成によれば、光学素子およびホルダからなる部品を配置できる位置が、支持体側の凹部または凸部を設けた所定の位置に制限される。これら支持体側の凹部または凸部と、部品側の凸部または凹部とは、現在の機械加工技術を駆使することで、それぞれ高い寸法精度と位置精度で形成することができる。従って、部品側の凸部または凹部が支持体側の凹部または凸部に組み合わせるように、部品を支持体に置くのみで、部品を支持体の所定位置に高い精度で配置することができる。もしも、部品の光学素子が光軸から多少ずれていた場合には、部品を構成するホルダが一般に有する光学素子微動機構でこの軸ずれを修正することができる。従って、この構成によれば、光学素子の軸調整作業を従来より大幅に軽減することができるので、所望の光学系を従来より簡易に形成することができる。そして、この構成を用いて、たとえばレーザ発振器のレーザビームの位置を支

持体の表面から18mm以下の一定の高さに押さえることができる。また、支持体に溝を設け、この溝内に前記凹部や凸部を設けて光学素子やホルダを配置するとともに、レーザビームも支持体の溝内を通るようにすることができる。このような構成にすることにより、支持体を筐体内に立てて配置した場合も含めてレーザ装置の安定性を大幅に高めることができる。

【0051】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、伝送部の非固定部分の端部に、正の群速度分散を有する半導体結晶を利用した圧縮ユニットをさらに結合してあると良い。

【0052】伝送部を構成するファイバの内部に、フェムト秒程度のパルス光が伝送されると、そのピーク強度の強さのために、自己位相変調効果が生じる。この効果のために、スペクトルの狭帯域化が生じて、パルスが広がってしまう。この自己位相変調効果の大きさは、パルス光のピーク強度に依存するため、1ミリワット程度の十分微弱なフェムト秒パルスであれば、ファイバで伝送可能である。しかし、このような微弱強度では、フェムト秒パルスの応用という側面からは不相当である。少なくとも、50ミリワット程度は伝送する必要がある。

【0053】そこで、この発明では、群速度分散制御部と共に圧縮ユニットを用いていることができる。すでに述べたように、群速度分散制御部は、光パルスに負の群速度分散を与えることにより、例えば100フェムト秒程度の光パルスを6ピコ秒程度まで広げるものである。この程度のパルス幅であれば、数100ミリワットの光パルスを、自己位相変調効果を無視して伝送することができる。ただし、ファイバ出力端でもパルス幅は3ピコ秒程度であり、フェムト秒には戻っていない。そこで、上述の圧縮ユニットにより、このファイバ端において、一気にパルス幅をピコ秒からフェムト秒に圧縮する。

【0054】この圧縮ユニットは、半導体結晶をもって構成されており、この結晶のバンドギャップ端における急峻な正の分散カーブを利用するものである。平均強度の大きいフェムト秒パルス光を、ファイバだけで伝送することはできない。しかし、上述したように、群速度分散制御部によってピコ秒までパルス幅を広げて、伝送部により平均強度を維持しながら伝送し、最後に圧縮ユニットを用いてパルス幅を圧縮することで、フェムト秒パルス光のファイバ伝送が可能となる。

【0055】また、この発明のレーザ装置の、好ましい例では、筐体の寸法を、長さ656mm以下、高さ508mm以下、幅234mm以下で、重量が50kg以下にして実装することができる。

【0056】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、前記群速度分散制御部が音響光学素子と少なくとも2枚の反射板とを有し、前記音響光学素子に入射した入射光は、前記音響光学素子を透過した後、前記2枚の反射板のうち一方の反射板である第1の反射板に

進んでそこで反射され、前記音響光学素子を透過して前記2枚の反射板のうちの他方の反射板である第2の反射板に進んでそこで反射され、前記の入射光の光路を逆方向に進行して前記音響光学素子から前記第1の反射板、前記音響光学素子へと進行して、前記音響光学素子に入射したときと同じ光路を入射したときとは逆方向に出射するように前記音響光学素子と少なくとも2枚の反射板とが配置されており、前記音響光学素子は、入射光を透過させることができるとともに該透過する入射光に対して音響光学効果を及ぼして入射光を分光するように構成

【0057】そして、第2の反射板として直角プリズムを用いて、前記群速度分散制御部に入射した光と前記前記群速度分散制御部から出射する光が空間的に異なる位置を通るようにすると良い。このようにすることにより、前記群速度分散制御部に入射する光と出射する光の分離を確実にできる。

【0058】また、第2の反射板と音響光学素子の間に4分の1波長板をおき、入射光と反射光の偏光方向を90度回転させるようにしても良い。このようにすることにより、前記群速度分散制御部に入射する光と出射する光の分離を確実にできる。

【0059】また、この発明のレーザ装置の好ましい例においては、前記レーザ発振器から出力されるレーザ光が直線偏波光であり、前記伝送部が少なくとも2つの4分の1波長板と少なくとも1つのコリメータと少なくとも1本の光ファイバを有しており、前記伝送部に入射した直線偏波のレーザ光が前記2つの4分の1波長板のうちの1つ（以下、第1の4分の1波長板ともいう）に入射して円偏波に変換されて前記コリメータを通過して前記光ファイバの入力側端部に入射して光ファイバ内を伝送され、前記光ファイバの出力側端部から前記第1の4分の1波長板とは別の4分の1波長板（以下、第2の4分の1波長板ともいう）に入射するように構成すると良い。そして、さらに好ましくは、前記光ファイバの出力側端部近傍の部分の長さ1mm以上にわたってコア直径が漸増した構造にすると良い。

【0060】また、この発明のレーザ装置において、好ましくは、モード同期発振状態を検出する光検出装置を有し、モード同期発振が停止した場合には、前記光検出装置の検出信号に対応してレーザ発振器を構成するミラーの少なくとも一つを移動させる駆動機構を駆動させ、モード同期発振を開始させる機能を有するようにすると良い。

【0061】

【発明の実施の形態】以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、図は、この発明が理解できる程度に形状、大きさおよび配置関係を概略的に示しているに過ぎない。また、以下に記載される数値等の条件や材料などは単なる一例に過ぎない。以下で説明

する実施の形態は、適宜好適な例を用いてこの発明の技術思想を説明するものであり、よって、この発明は、この実施の形態にのみ限定されるものではない。

【0062】この発明の実施の形態のレーザ装置につき、図1を参照して説明する。

【0063】図1は、この発明の実施の形態のレーザ装置の構成を示す図である。図1(A)は、レーザ装置を上方から見たところを示しており、図1(B)は、レーザ装置を側方(図1(A)の左側)から見たところを示している。

【0064】このレーザ装置は、主として、レーザ発振器10と群速度分散制御部12と伝送部14とで構成されている。レーザ発振器10は、パルス光を生成する光学ユニットで構成されている。群速度分散制御部12は、レーザ発振器10から出力されたパルス光の群速度分散を制御する光学ユニットである。伝送部14は、少なくともコリメータ80と光ファイバとしてのSMF14aにより構成されていて、群速度分散制御部12によって群速度分散が制御されたパルス光を伝送するための光学ユニットである。

【0065】また、この実施の形態のレーザ装置では、レーザ発振器10と、群速度分散制御部12と、伝送部14の一端とが、支持体としての1枚の支持板16上に固定されている。この支持板16は、厚さが5cm程度のアルミニウム(アルミ5052)板である。この支持板16の表側および裏側のそれぞれに、レーザ発振器10および群速度分散制御部12が設けられている。すなわち、レーザ発振器10および群速度分散制御部12は、支持板16を挟んで対向した状態に設置されている。

【0066】また、伝送部14は、SMF14aと、その端部に接続されたコリメータ80とをもって構成されている。SMF14aとコリメータ80とは、十分に高い精度で相対位置が合わせられた状態で、互いに接続されている。伝送部14の一端、すなわちコリメータ80は、群速度分散制御部12の光軸と調芯された状態、例えば、 $\pm 10 \mu\text{rad}$ 以下の光軸の角度精度、 $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下の光軸の位置精度に調芯された状態で、支持板16の群速度分散制御部12側の面上に固定されている。従って、群速度分散制御部12から出力されたパルス光は、コリメータ80を経て、SMF14a中に導入される。

【0067】このような構成によれば、支持板16の片面に各光学ユニットを設ける場合に比べて、支持板16を小型にすることができる。従って、装置全体も小型化され、重量も軽減する。しかも、支持板16の片面だけが光学ユニットの重量の影響を受けたり、光学ユニットから放出される熱により影響を受けることもなくなり、部分的な重力の影響や熱膨張による光学ユニットの光軸ずれのリスクが低減される。

【0068】このように構成したことにより、この例の

1つの筐体の実装されたレーザ装置は、長さ650mm、高さ500mm、厚さ200mmであり、重量が50Kg以下になっている。

【0069】このように、この実施の形態のレーザ装置は、1つの支持板16上に組み込まれて1つの筐体の実装された状態で提供される。また、各光学ユニットの光軸はすでに調整された状態で提供される。従って、ユーザは、煩雑な調芯作業を行う必要がなく、所望のパルス光をすぐに使用することができる。

【0070】さらに詳細にレーザ装置の構成につき説明する。この実施の形態のレーザ装置本体は、適当な筐体の内部に収められているために、運搬しやすくなっている。

【0071】図2は、筐体の構成を示す図である。図2(A)は側面図であり、図2(B)は正面図である。図2(A)には、支持板16の群速度分散制御部12側が示されている。

【0072】上述したように、この実施の形態のレーザ装置の重量は約50Kgである。このような重量になると、運搬の安全性や、重さによる筐体の歪みなどを考慮する必要がある。そのため、図2(A)に示すように、筐体18としては、2枚の板20および22を平行に対向させ、これらの間を4本の肉厚のアルミニウムのパイプ24によって接続したものを用いている。パイプ24の外径は30mm程度である。このような構造を採用することにより、歪みに対する強度が確保されている。また、パイプ24には、手で握ることを考慮して、適当な滑り止め加工、例えば図示例のような溝加工が表面に施されている。これらパイプ24の間に、光学ユニットが設けられた支持板16が収められる。図2(B)に示すように、支持板16は、図2(B)中の上下方向にわたり主面（光学ユニットが設けられた面）が延在するようにして設けられる。

【0073】そして、光学ユニットを含む支持板16は、外装板26により覆われている。この実施の形態のレーザ装置は、アライメントフリーになっている。

【0074】また、一方の板20にはSMF14aを通すための孔が開けられている。SMF14aの非固定部分は、この孔を通して、筐体18の外部に導出されている。あるいは、板20にSMF14aの接続が可能なコネクタを設けておき、群速度分散制御部12から出力された光を、コリメータ80を経て、このコネクタに伝送させる構成にしておけば、この部分でSMF14aの脱着作業を行うことができる。また、このコネクタがコリメータ80とともに組み込まれてコネクタとして板20に設けられていて、必要に応じて光ファイバ、たとえばSMF14aを接続するようにすることができる。

【0075】この例で用いられるSMF14aは、コア径が5.3μmであり、開口数NAが0.12である。

【0076】さらに、この実施の形態のレーザ装置は、

レーザ発振器10に励起光を供給するための励起光源28を具えている。この励起光源28は、支持板16の上側（図2(A)中の上部）に固定された状態で設置されている。

【0077】また、図3に、支持板16を含む図2(B)の1-1線の位置で切った切り口の断面を示す。図3は、支持体と筐体との結合の様子を示す断面図である。

【0078】支持板16の下側（図3中の下側）には、架橋板30が設けられており、この架橋板30の両端はそれぞれ板20および22に接続されている。この架橋板30の上に適当な個数の、例えばゲル状物質でつくられた振動吸収体32が緩衝体として設けられている。支持板16は、これら振動吸収体32を介して筐体に結合している。また、支持板16の側面と対向する板20および22の双方にも、振動吸収体32が適当個数設けられている。従って、支持板16の側方も、振動吸収体32を介して筐体に結合している。さらに、支持板16の主面と対向する外装板26の裏側にも、振動吸収体が適当個数設けられている。このように、支持板16は、筐体18中に振動吸収体32を介して設けられることによって、所定の防振構造が実現されている。従って、防振テーブルに設置する必要はない。

【0079】尚、一例として、直径30mm、高さ22mm、共振点10Hz付近の振動吸収体を支持板16の下に8個、前後左右に各1個、合計12個を配置するのが好ましい。

【0080】上記の如き振動吸収体32を緩衝体の例として説明したが、耐振特性を高めるために緩衝体としての振動吸収体を筐体外部からの振動や衝撃が支持体に伝わるのを大幅に軽減することができる緩衝部と筐体と支持体の少なくとも一方に緩衝体を固定することができる固定部を有するように構成して、前記緩衝部をシリコンゴム系の緩衝材でつくることが好ましい。たとえば、前記固定部を、この緩衝体を支持体や筐体に固定することができるネジ部を有する構造にし、前記固定部2つを前記緩衝部と一体に成型して、支持体と筐体の間にこのシリコンゴムでできた緩衝部を介在させるとともに、前記2つの固定部のネジ部を、支持体と筐体に設けた穴部にそれぞれ差し込んで、ナットで締め付けてしっかりと固定すると、小型で耐衝撃性の優れた、持ち運びに便利なレーザ装置をつくることができる。

【0081】このとき、前記支持体と筐体に設けられた穴部を前記ネジ部の径より大きな内径に形成しておくことで固定に都合がよい。

【0082】次に、支持板16の構成をさらに詳細に説明する。図4は、支持板16の構成を示す平面図である。図4には、群速度分散制御部12が設けられている側が示されている。支持板16の上側には励起光源28が設置されている。

【0083】上述したように、支持板16はアルミニウムにより形成されている（アルミニウム合金でも良い）。各光学素子は、アルミニウム板の表面が掘削された部分16a、16bおよび16cにそれぞれ設置されている。これら16a、16b及び16cは、凹部であり、それぞれの形状は強度を保ちながら軽量化を実現できる。この支持板16全体を一定温度に保つために、板の厚みの中心部分に冷却水が通る孔が水路として開けられている。その孔の部分には、折り曲げ自在な中空パイプ34が接続されており、それを通して支持板16内に冷却水が供給されるようになっている。ここでは、励起源として使用している後述するグリーンレーザは、通常約20分で立ち上がる。定常運転時には、通常、グリーンレーザの筐体の前方は約29度C、後方は約27度C程度まで温度が上昇する。この温度差は、アルミニウムに熱膨張を発生させ、筐体に歪みを生じさせる。歪みの大きさは、アルミニウムの熱膨張係数とグリーンレーザの長さを考慮すると、2℃の温度差で最大約20μmに達する。最大値で20μmと予想される筐体の変位は、グリーンレーザが単体の場合は殆ど問題にならない。しかし、一体化して、グリーンレーザと後述するチタンサファイアレーザを含む光学系の光軸精度を±10μm以下に保つためには、グリーンレーザの筐体の温度分布は無視できない値である。

【0084】そこで、グリーンレーザの筐体と、チタンサファイア共振器を接続している中間部分に、水冷機構を有する厚さ10mmのアルミニウムの板を配置した。水冷はアルミニウム板内部に4ヶ所貫通穴を開け、その内部に循環冷却水を通すことで行った。冷却水の温度は約23度、流量は毎分約600ミリリットルである。

【0085】このとき、前記グリーンレーザの筐体と、チタンサファイア共振器を接続している中間部分に設けた水冷機構を有する厚さ10mmのアルミニウムの板を、支持板16と一体に形成することが小型、軽量化などこの発明の目的達成のために一層好ましい。

【0086】一方、チタンサファイア共振器は、共振器の配置されている支持体の中心部に5ヶ所貫通穴を開け、内部に別の冷却機からの循環水を通して、冷却水の温度は約23度C、流量は毎分約600ミリリットルである。

【0087】さらに、上記の支持体の冷却水の循環の途中にバイパスを設け、チタンサファイア結晶の冷却を行っているペルチェ素子の排熱側の冷却を併せて行っている。

【0088】この温度対策により、グリーンレーザとチタンサファイア共振器の表面温度は、グリーンレーザが全面にわたり24度C程度、チタンサファイア共振器の表面温度が23度C程度となっている。

【0089】なお、レーザ発振器10側も同じように、支持板16の掘削された部分に、各光学素子が設置され

ている。

【0090】また、励起光源28から出力された励起光は、支持板16の上側側面に設けられた励起光導入用ミラー38により反射されて、レーザ発振器10側に伝搬されるようになっている。

【0091】次に、この実施の形態のレーザ装置の光学系について説明する。先ず、図5を参照して、レーザ発振器10の構成につき説明する。図5は、レーザ発信器10の構成を示すブロック図である。

【0092】このレーザ発振器10は、モード同期チタンサファイアレーザとして構成されている。この例のレーザ発振器10のサイズは、幅が320mm、長さが590mm、高さが90mmである。

【0093】このレーザ発振器10のために、上述した励起光源28として、ダイオード励起の固体グリーンレーザが用いられる。励起光源28内部のダイオードは、ドライバ36によって駆動される。励起光源28は、波長が532nm、出力が3.5Wの励起光を出力する。この励起光が、励起光集光ミラー38および40により順次に反射されて、レーザ発振器10へ伝送される。

【0094】また、レーザ発振器10は、レーザ媒質として、Ti:Al₂O₃結晶42を具えている。Ti:Al₂O₃結晶42は、0.15重量パーセントのチタンをドープしたサファイアである。Ti:Al₂O₃結晶の発光スペクトルは、600nm～1100nmの波長域にわたる。この結晶42には、ペルチェ素子などのサーマルエレクトリッククーラ（以下、T.E.Cと略称する。）が取り付けられており、温度が一定の状態に管理されている。このT.E.Cは、T.E.Cドライバ44によって制御されている。

【0095】また、このレーザ発振器10中には、4つのチャープミラー46a、46b、46cおよび46dが設けられており、これらは共振器の一部として機能する。チャープミラー46a～46dは、一般的なZ字型の共振器を構成している。共振器中の光は、これらチャープミラー46a～46d間で7回反射されてから、出力ミラー48を経て、外部に出力される。このように、光をチャープミラー46a～46d間で繰り返し反射させることにより、Ti:Al₂O₃結晶42が持つ群速度分散を補償している。

【0096】また、このレーザ発振器10の共振器の一端には、終端ミラー50が設けられている。この終端ミラー50は、スライダ機構により光軸方向に移動することができる。このスライダ機構は、スタータ52により制御されるソレノイド54によって駆動される。スタータ52は、手動操作のスイッチによって作動する。すると、スタータ52は、ソレノイド54を作動させて、終端ミラー50を微小に移動させる。この結果、共振器中にFM変調が引き起こされ、モード同期が開始する。

【0097】レーザ発振器10へ入射された励起光は、

波長板 ($\lambda/2$ 板) 53を通った後、励起光集光レンズ55によってTi:Al₂O₃結晶42に集光される。Ti:Al₂O₃結晶42から出射した光は、凹面鏡56に反射されてチャープミラー46aに伝送される。チャープミラー46aにより反射された光は、チャープミラー46b、終端ミラー50、チャープミラー46b、チャープミラー46a、凹面鏡56、凹面鏡58、チャープミラー46d、チャープミラー46cおよび出力ミラー48の順に伝搬される。出力ミラー48からは、約70フェムト秒の光パルスが出力される。このレーザ発振器10の最大出力は、450mWである。

【0098】さらに、このレーザ発振器10は、モード同期状態を常に監視し、万一、モード同期状態が停止した場合は、自動的に、つまり手動作によらず、上記のようにソレノイド54を駆動し、再度、モード同期を開始させる機能も有している。

【0099】モード同期状態の監視には、以下のような原理を利用している。

【0100】モード同期発振すると、出力光は、共振器の光路長で決まる周波数で繰り返すパルス列を生じる。この繰り返し周波数は、 $c/(2L)$ (ただし、 c は光速、 L は共振器長である。)により表される。すなわち、1.5m (メートル) の共振器長の場合、パルス列の繰り返し周波数は100MHz (メガヘルツ) となる。

【0101】一方、モード同期発振から外れると、ほとんどの場合、連続発振状態になる。よって、レーザ発振器10の出力を光検知器で監視し、決まった周波数のパルス状の繰り返し信号が出力されるか、あるいは、一定強度の信号が出力されるか、どちらの状態であるかを判断すれば、レーザがモード同期状態であるかどうかを容易に判断できる。このような光検知器として、レーザ発振器10の内部にフォトダイオード57を設けてある。フォトダイオード57は、上述の凹面鏡56を透過した光を受光する。フォトダイオード57で受信された信号は、スタータ52に入力される。スタータ52は、フォトダイオード57の受信信号により、モード同期状態を監視することができる。

【0102】具体的には、フォトダイオード57の受信信号の周波数を、カウンタによって約1/10に周波数変換している。そして、この周波数変換された信号を、スタータ52内部に内蔵されるチャージポンプ回路に導く。このチャージポンプ回路は、繰り返し信号が入力されると出力電圧を上昇させ、繰り返し信号が入力されなくなると出力電圧が減少するという電子回路である。この回路の出力状態を、ソレノイド54に送るトリガ信号として利用している。

【0103】なお、レーザ発振器10を波長可変に構成するには、共振器内のレーザ媒質後段に複屈折フィルタを挿入する。複屈折フィルタは、複屈折媒質例えば水晶

で形成された平行平板である。この複屈折フィルタの入射面を、レーザビームに対する入射角度がブリュースター角になるように設ける。複屈折フィルタを、その入射面の法線に関して、回転させることにより、共振器内のレーザビームの波長選択を行うことができる。

【0104】このレーザ発振器10から出力されたパルス光は、支持板16のレーザ発振器10側に設けられたミラー60により反射され、支持板16の表側から裏側にわたり開けられた貫通孔61を通して、支持板16の裏側、すなわち、レーザ発振器10が設けられる側とは反対側、すなわち、群速度分散制御部12側に送られる。上述したように、支持板16は冷却機構を具えているため、支持板16の内部は、比較的温度が一定である。しかも、貫通孔61の内部は空気擾乱の影響も少ないので、光ビームは安定した状態で伝送される。

【0105】次に、図6を参照して群速度分散制御部12の構成につき説明する。図6は、群速度分散制御部12の構成を示すブロック図である。この群速度分散制御部12は、第1反射体としての直角プリズム62、回折格子 (グレーティング) 64および第2反射体としての直角プリズム66を具えている。図1中には、光の伝搬経路を実線bおよび破線rにより示してある。

【0106】上述の回折格子64は、レーザ発振器10により供給されたパルス光の各波長成分を、波長に応じた方向へそれぞれ回折させるものである。また、直角プリズム62は、回折格子64を経て入射したパルス光を、パルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて回折格子64へ戻すものである。また、直角プリズム66は、直角プリズム62および回折格子64を経て入射したパルス光を、パルス光の入射方向に平行な方向へ反射させて回折格子64へ戻すものである。各直角プリズム62および66は、互いに垂直な二つの反射面をそれぞれ有している。

【0107】上述したように、レーザ発振器10側から送られたパルス光は、支持板16に設けられた貫通孔61を通して、群速度分散制御部12に入力される。入力パルス光は、群速度分散制御部12に設けられた、平面鏡68、凸面鏡70、凹面鏡72、平面鏡74、平面鏡76および平面鏡78の順に反射されてゆく。そして、平面鏡78により反射されたパルス光は、先ず、回折格子64に入射する。

【0108】回折格子64に入射したパルス光は、各波長成分に分離されて、各波長成分が波長に応じた方向にそれぞれ回折される。図6では、長波長成分の光路が実線rにより示されており、短波長成分の光路が破線bにより示されている。長波長成分の方が短波長成分に比べて回折角が大きく、回折後は、長波長成分rと短波長成分bとが一致しない。

【0109】この実施の形態では、回折格子64のピッチは600本/mmである。また、回折格子64のサイ

ズは、幅が30mm、長さが30mmである。

【0110】回折格子64で回折されたパルス光は、直角プリズム62に入射して反射される。パルス光は、直角プリズム62内において、互いに垂直な二つの反射面に順次に反射されて、入射方向（回折格子64で回折されたパルス光が直角プリズム62に入射するときの伝搬方向）と平行な方向に反射される。反射されたパルス光は、再び回折格子64に入射する。パルス光の入射位置は、初めに回折格子64に入射した位置と異なり、また、波長成分に応じて異なっている。回折格子64では、パルス光の各波長成分が入射方向（平面鏡78で反射されたパルス光が回折格子64に入射するときの伝搬方向）と同じ方向に向けて回折されるために、各波長成分は互いに平行となる。そして、各波長成分は、直角プリズム66に入射する。

【0111】パルス光は、直角プリズム66内において、互いに垂直な二つの反射面に順次に反射されて、入射方向と平行な方向に反射される。反射されたパルス光は、再び回折格子64に入射する。

【0112】なお、一方の直角プリズム62の二つの反射面の双方に垂直な面と、他方の直角プリズム66の二つの反射面の双方に垂直な面とを互いに垂直に配置している。図示例では、一方の直角プリズム62の二つの反射面の双方に垂直な面は、図6中の紙面に平行な面である。また、他方の直角プリズム66の二つの反射面の双方に垂直な面は、図6中の紙面に対して垂直な面である。

【0113】従って、直角プリズム66では、パルス光は、最初に図6の紙面に垂直な方向に反射され、続いて、図6の紙面に平行な方向に反射されて回折格子64に戻される。その後、パルス光は、平面鏡78、回折格子64、直角プリズム62、回折格子64および直角プリズム66の順に伝搬された最初の光路と平行な別の光路を伝搬される。すなわち、パルス光は、回折格子64、直角プリズム62および回折格子64の順に伝搬される。図中で、この回折格子64から後述のコリメータ80の方向へ向かう帰りの光路は、前記の行きの光路と図の紙面に垂直方向にずれているために、パルス光は平面鏡78に入射されずに直進する。そして、パルス光は、群速度分散制御部12から出力され、伝送部14を構成するコリメータ80に入射して、コリメータ80に接続されたSMF14aに入射し、SMF14aにより装置外部に伝送される。

【0114】また、この実施の形態では、直角プリズム62と回折格子64との間の距離が可変にできるように、直角プリズム62が、光軸に沿う直線方向への移動を可能にする移動機構を具えている。この移動機構のため、直角プリズム62は、この直角プリズム62に対するパルス光の入射方向を一定に保った状態で、直線移動を行うことができる。すなわち、直角プリズム62は、

図6に示すa方向に移動することができる。直角プリズム62を移動させると、直角プリズム62と回折格子64との間の距離が変化するので、パルス光の各波長成分間の光路差を変化させることができる。

【0115】ここで、前記第1および第2反射体に直角プリズムを用いたため、ルーフ型ミラーの利点とは異なり、ルーフ型ミラーを用いる場合に比べて極めて調整が容易になるという利点がある。

【0116】以上説明したように構成してあるため、群速度分散制御部12内では、長波長成分rの方が短波長成分bに比べて長い距離の光路を伝搬する。従って、SMF14aに入力した時点では、パルス光の各波長成分の間に、回折格子64と直角プリズム62との間の距離に応じた光路差が生じている。

【0117】このように、群速度分散制御部12は、パルス光に負の群速度分散を与えるものである。この実施の形態の群速度分散制御部12によれば、例えば、100フェムト秒程度のパルス光のパルス幅を6ピコ秒程度にまで広げることができる。パルス光の、回折格子64を通過した時点での出力は110mWであるが、上述した程度のパルス幅であれば、数100ミリワットのパルス光を、自己位相変調効果を無視してSMF14aにより伝送することができる。

【0118】また、SMF14aの出力端（非固定部分の端部）には、圧縮ユニット82が接続されている。この圧縮ユニット82は、正の群速度分散を有する半導体結晶により構成されている。このような結晶としては、例えば、ZnSeやCaSeなどがある。この圧縮ユニット82は、半導体結晶のバンドギャップ端における急峻な正の分散カーブを利用して、ピコ秒程度の光パルス幅をフェムト秒程度に圧縮する。この例では、SMF14aの出力端において、パルス光のパルス幅が3ピコ秒程度になっている。パルス光は、SMF14aから圧縮ユニット82内に導入されると、ビーム径が1ミリ程度に拡がり、複数回結晶中を通過した後外部に出力される。その結果、パルス光のパルス幅は100フェムト秒程度に圧縮される。

【0119】以上説明したように、この実施の形態の群速度分散制御部12では、ビームを空間的に折り畳んだ形の光学系が採用されている。このため、プリズム対や回折格子対を用いる従来の装置に比べて、約1/2の寸法の面内に構成することができる。

【0120】また、直角プリズム62は、60mmの距離だけスライドさせることができる。その結果、この群速度分散制御部12の群速度分散は、 150000 fs^2 ないし 200000 fs^2 の範囲で変化可能である。この値から接続可能なSMF14aの長さを求めると、3.5mから5mとなる。この程度の長さのSMF14aを用いることができるため、この実施の形態のレーザ装置をたとえば顕微鏡の光源、2光子吸収のリソグラフ

ィの光源、光通信の光源などとして利用することは実用的に十分可能である。

【0121】さらに、直角プリズム62と回折格子64との間の距離が可変にできるように、直角プリズム62が、直角プリズム62へ回折格子64からの光が入射し、その光を全て入射した光と平行を保つ方向に向かって反射できるような移動が可能である。例えば、好ましい例として、直角プリズム62の移動については、回折格子64からの出射光の中心波長の光の光軸の方向への直線移動が可能である。

【0122】また、この中心波長が $\pm 50\text{nm}$ 変化する場合、回折格子64からの出射光の角度が $\pm 2^\circ$ 変化し、直角プリズム62から回折格子64の反射光は回折格子64の表面上 $\pm 10\text{mm}$ 変化する。従って、回折格子64の溝の方向に対して直角方向の長さは 50mm 以上あることが好ましい。

【0123】さらに、直角プリズム62の代わりにコーナーキューブリフレクタを用い、直角プリズム66の代わりに平面鏡を用いる構成とすることもできる。

【0124】また、直角プリズム62の移動機構は、装置の外部から電氣的に制御できるように構成されている。このように構成してあるので、群速度分散制御部12内部の群速度分散を、SMF14aの長さに合わせて調節することができる。従って、SMF14aを交換したときも、アライメントをやり直す必要がない。

【0125】さらに、波長可変にした場合および接続するファイバの長さを変化させた場合などにおいて、直角プリズム62の移動機構の制御に対して、SMF14aから出力されたパルス光のパルス幅を検出し、前記検出されたパルス幅と目的とするパルス幅との差を演算して、直角プリズム62の移動量を直角プリズム62の移動機構へ負帰還を行うようにしてある。この結果、SMF14aから出力されるパルス幅が一定となる。

【0126】さらに、回折格子64は、格子面に平行な軸（図6中の紙面に対して垂直な軸）に関して回転可能に構成してある。そして、回折格子64の入射パルス光に対する角度を、レーザ発振器10から出力されるパルス光の波長を指標として変化させるようにしてある。つまり、上述したレーザ発振器10の波長可変機構と連携させ、波長可変機構を構成する複屈折媒質の回転角に応じて、回折格子64を回転させるようにしてある。このように、パルス光の波長に合わせて回折格子64を回転させるので、パルス光の波長が変化しても、アライメントをやり直す必要がない。

【0127】図7は本発明の好適な例を説明する図で、群速度制御部と伝送部を説明する図である。多くの構成は図6と同様であるが、図6と異なる主なところは、図6の凸面鏡70の代わりに平面鏡503を配置し、平面鏡68と平面鏡503の間の光路中に、ビームエキスパンダとして作用するレンズ501と502を配置したこ

と、凹面鏡72を光路形成要素としては用いず、平面鏡74の代わりに平面鏡503を配置して、平面鏡68からレンズ501と502を通して平面鏡503に入射したパルス光が平面鏡503に入射して、平面鏡503により反射されて平面鏡76に入射して、以後、図6において説明したような光路を通して回折格子64から伝送部の方へ出射されるようにしたこと、直角プリズム62を符号62bで示した部分を切欠いたプリズム62aにして、たとえば、回折格子64と直角プリズム66との間の光路をプリズム62a側に一層近接することができるようにしたこと、そして、回折格子64と伝送部のコリメータ80の間に4分の1波長板505を配置したことである。

【0128】そして、前記4分の1波長板505は前記群速度分散制御部の回折格子64と伝送部の光ファイバの間に配置すればよく、特別の制約はない。

【0129】図7において、レーザ発振器10側から送られたパルス光ビームは、tuuko貫通孔61を通り、平面鏡68により光路を図のように入れられて、ビームエキスパンダを構成するレンズ501と502によってビーム幅を大きくされる。この例においては、レンズ501に入射する前の矢印506で示した位置でのビーム幅（たとえばビームの径）に対して、レンズ502からパルス光ビームが出射した後の矢印507で示した位置におけるビーム幅が約4倍になっている。

【0130】レーザビームの広がり角は、矢印506の位置におけるよりも矢印507の位置において小さくなっている。

【0131】前記ビームエキスパンダは少なくとも2つのレンズにより構成されている場合のうち、2つのレンズにより構成されている例を記したが、この2つのレンズの、パルス光ビームの入射側、即ち、図7で平面鏡68に近い側のレンズはポジティブレンズでもネガティブレンズでもよく、たとえば、平凸レンズでもよく、平凹レンズでもよく、非球面凸レンズでもよく、またそれらの組み合わせレンズでもよい。また、パルス光ビームの出射側、即ち、図7で平面鏡503に近い側のレンズはポジティブレンズが用いられ、たとえば、平凸レンズでもよく、非球面凸レンズでもよく、それらの組み合わせレンズでもよい。

【0132】ビームエキスパンダを通してビーム幅が大きくなり、広がり角が小さくなった、すなわち、より平行ビームに近くなったパルス光ビーム（レーザビーム）は、平面鏡503で進路を変えられ、図示のように、平面鏡504から平面鏡76へと進み、以下、図6の場合と同様に進行して、回折格子64と第1の反射体としての直角プリズム62aおよび第2の反射体としての直角プリズム66とによって分散を制御されて回折格子64から伝送部側へと出射される。図7における直角プリズム62aは、図6の直角プリズム62と比較して、図の

三角形の一部（図7における符号62bで示した部分）を切り欠いた形状にしており、回折格子64と直角プリズム66の間の光路（以下、光路Aともいう）が直角プリズム62aに直接するように構成されても、光路Aを直角プリズム62aが遮らないようになっている。これは装置の小型化に寄与すると同時に、直角プリズム62aの可動幅を大きくすることができ、群速度分散制御の可変幅を増大させることができる。

【0133】また、直角プリズム66も、その三角形の一部を切り欠いた形に構成することにより、小型化に寄与することができる。

【0134】上述のように群速度分散制御をされたパルス光ビームは群速度分散制御部から出射して、4分の1波長板505を通り、コリメータ80に入射する。

【0135】4分の1波長板505を配置したことにより、戻り光がレーザ発振部10に戻るのを大幅に低減することができる。

【0136】なお、この4分の1波長板505は、図10の4分の1波長板120を配置している場合は、この4分の1波長板120で代用することができる。

【0137】以上説明したように、本発明の好適な例としての図7においては、レンズ501と502で構成されるビームエキスパンダと4分の1波長板505を用いたことにより、レーザ発振部を一層安定にすることができる。

【0138】以上のように、この実施の形態のレーザ装置は、機能的に異なる3つのユニットが相まって1つの装置として機能するように構成されたものである。このレーザ装置は、空間を伝播するレーザビームを扱う。このような空間ビームを扱う際の設計上、あるいは、製造上の工夫について述べる。

【0139】この実施の形態では、レーザ発振器10、群速度分散制御部12および伝送部14を構成する部品のそれぞれ支持板16に接続される側に位置決め用の凸部または凹部を設けてある。そして、これら凸部または凹部が組み合わされる凹部または凸部を、支持板16の所定の位置に形成してある。光学ユニットおよび支持板16の双方に、このような位置決め機構が設けられている。

【0140】図8は、位置決め機構の例を示す斜視図である。図8(A)には、光学素子用ホルダ84を下側から見たところが見られている。図8(B)には、支持板16の一方の主面の一部分が見られている。

【0141】光学素子用ホルダ84は、上述の光学ユニットを構成する光学素子を保持するためのものである。この光学素子用ホルダ84の下側、すなわち、支持板16に接続される側に、位置決め用の凸部86が形成されている。一方、支持板16の所定位置には、光学素子用ホルダ84の凸部86が嵌合する凹部88が形成されている。従って、光学素子用ホルダ84の凸部86を支持

板16上の凹部88に嵌め込むことにより、光学素子を支持板16上の所定位置に配置することができる。その後、所要の手段により光学素子ホルダ84を支持板16に固定すれば良い。

【0142】このように構成してあるため、光学素子用ホルダ84は、支持板16の凹部88を設けたことによって、所定の位置に配置される。これら支持板16の凹部88と、光学素子用ホルダ84の凸部86とは、現在の機械加工技術を駆使することで、それぞれ高い精度で形成できる。従って、光学素子用ホルダ84の凸部86が支持板16の凹部88に組み合わせるように、光学素子用ホルダ84を支持板16に置くのみで、光学素子を支持板16の所定位置に高い精度で配置できる。もしも、光学素子が光軸から多少ずれていた場合には、光学素子用ホルダ84が一般的に有する光学素子微動機構でこの軸ずれを修正できる。従って、この構成によれば、光学素子の軸調整作業を従来より軽減することができるので、所望の光学系を従来より簡易に形成することができる。

【0143】また、上記の例では、レーザ発振器10、群速度分散制御部12および伝送部14を構成する光学系を固定する支持部（ネジ部を除く）の少なくとも主要部分の材料として、支持板16と同じアルミニウムが用いられている。このように、各部品の熱膨張係数を同じにすれば、熱サイクルを受けても、各部品間の熱膨張の差が累積することがなく、光路ずれが生じにくい。

【0144】ただし、使用する部品によっては、微調整を行わなければならない場合には、微調整を行う部分のばねやレールはステンレスなどを、また、取り替えを必要とする部分の取り付けネジなどは真ちゅうなどを用いることができる。

【0145】また、このレーザ装置の内部におけるビームの高さは、群速度分散制御部12の一部を除いて18mmに統一されている。この値は、以下に述べるように、JIS-Z8801工業規格の標準数に基づいて決められたものである。すなわち、レンズやミラーは、入手の容易さとコストの点とで市販の標準品が多用されている。この標準品は、1/2インチ（12.7mm）の寸法のものが多い。そこで、床面からのビームの高さとして、光学素子の保持に最低限必要なメカ機構の厚さと、この直径とを考慮して、上述の寸法に対して最も適当である18mmの値を選択している。

【0146】次に、この実施の形態のレーザ装置の小型化の可能性について述べる。上述した現状のチタンサファイア共振器には、部品コストの削減のために、市販されているミラーやレンズが多用されている。上述したように、このような光学素子の直径は1/2インチのものが多い。従って、この直径をさらに半分にできれば、ビーム高さを18mmからさらに低くすることが可能になる。さらに、光学素子の取り付けに必要なメカ部品

も小型化が可能である。

【0147】ビーム高さを前記のように18mm以下にすることは、支持板16で例示した支持体を縦にして筐体の実装した場合に、熱の影響や重力の影響により光路にずれが生じるリスクを軽減することができる。

【0148】さらに、支持板16に溝部を設けて、この溝部内を光路にするように各光学系を構成し配置すれば、光路のずれのリスクは一層軽減される。

【0149】現在のレーザ装置は、本発明の実施により、筐体の長さ、高さ、幅の各最大寸法が長さ656mm、高さ508mm、幅234mmで、重量が50kg以下に小型化されている。

【0150】さらに、小型化した実施例として、標準品として市販されているものに限られず、独自の寸法の光学素子を用いることによりブロックの大きさを半分にできる。この段階では、共振器の支持体は、幅が200mm以下、長さが550mm以下、厚さが60mm以下の寸法になる。

【0151】励起光源28も、同様の手法により、幅が100mm以下、長さが390mm以下、高さが90mm以下の寸法になる。

【0152】従って、レーザ装置全体の寸法は、筐体の最大寸法で長さ620mm以下、高さ430mm以下、幅170mm以下にすることができる。

【0153】さらに、ブロックの大きさは小さくせずにそのパッキング密度をあげるにより更に小さくできる。この段階では、共振器は、幅が60mm以下、長さが105mm以下、高さが45mm以下の寸法になる。

【0154】同様の技術により、励起光源28は、幅が30mm以下、長さが60mm以下、高さが30mm以下の寸法になる。

【0155】従って、レーザ装置全体の寸法は、長さ230mm以下、高さ175mm以下、厚さ155mm以下にすることができる。

【0156】図9は、群速度分散制御部12の別の例を説明する図である。図中符号100は入射光、101は駆動部102を有する音響光学素子、103は第1の反射板、104は第2の反射板、105は4分の1波長板、106は入出力分離素子、107は出射光の光路、108はコリメータ、109は光ファイバ、110～113は光路である。音響光学素子101、第1の反射板103、第2の反射板104、4分の1波長板105は群速度分散制御部12の構成要素である。ここで、コリメータ108と光ファイバ109は伝送部14の一部を構成する。

【0157】図9において、群速度分散制御部12に入射した入射光100は入出力分離素子106を通り光路110に進み、入射光を透過することができる音響光学素子101に入射する。音響光学素子101の駆動部102に適切な電気信号を入れて音響光学素子101に進

行波を生じさせておくと、入射光は光路111に示したように波長に応じて分光され、第1の反射板103で反射されて、光路112を通り再び音響光学素子101を通り光路113に進み、4分の1波長板105で偏光面を45度回転された状態で第2の反射板104で反射され、再び4分の1波長板105で偏光面を45度回転された状態で、光路113、112、111、110と進行して入出力分離素子106に入射する。この場合、第2の反射板104で反射された光は、音響光学素子101を通過し、第1の反射板103で反射され、音響光学素子101を通過する。このとき、4分の1波長板105を往復通過した光は偏光面が入射光100に対して90度回転されているため、入出力分離素子で入射光100とは異なる光路106へと出力され、伝送部14を構成するコリメータ108に入射し、光ファイバ109を伝送される。

【0158】また、前記図9の4分の1波長板105を用いずに、第2の反射板104として、2つの反射面を有するたとえば直角プリズムを用い、前記2つの反射面に垂直な面を、たとえば、図の紙面に垂直に配置すれば、光路113を進行して第2の反射板104としてのプリズムに入射した光は、たとえば、光路113に平行で光路113に対して図の紙面に垂直上方向で光路113に平行な光路を通過して光路112、光路111、光路110にそれぞれ平行で図の紙面に垂直上方向に位置する光路を通過して進行する。この場合も、第2の反射板104で反射された光は、音響光学素子101を通過し、第1の反射板103で反射され、音響光学素子101を通過する。上記の場合では、入射光と出射光は紙面の高さ方向にまったく異なる位置を通過するので、入出力分離素子106は必ずしも必要なく、たとえば、コリメータ108を入射光100に平行な位置に配置すればよい。

【0159】図10は、伝送部14におけるさらなる改良の例を説明する図である。

【0160】図中、符号120は4分の1波長板、121はレンズ、122は光ファイバ123の入力側端末、124は光ファイバ123の出力側端末、125は4分の1波長板、126と127は光の進行方向を示す矢印である。

【0161】図10において、矢印126の方向から伝送用光ファイバ123に入射する直線偏光のパルスレーザビームが、該レーザ波長1/4波長板である第1の4分の1波長板120を通過した後、偏光状態が円偏光になるように第1の4分の1波長板120は方位が調整されている。

【0162】第1の4分の1波長板120を通過したレーザビームは集光レンズ121によってシングルモード光ファイバ123の研磨された端面を有する入力側端末122に集光される。シングルモード光ファイバ123中を伝送されるレーザビームは円偏光になっているので、直

線偏光状態のときに比べて、単位面積あたりの電界強度は $1/\sqrt{2}$ になっている。従って、強度由来の光ファイバの破壊の限界が $\sqrt{2}$ 倍の伝送平均出力まで上昇する。さらに、光ファイバ123の出力側端末124はTEC (Thermally Expanded Core) 技術を用いて、数ミリから数センチの長さにわたり、コア直径が拡大されている。直径が3.3倍に拡大されることでレーザパルスの時間幅が、出力端で最も短くなる場合、出力表面の面積が3.3の自乗倍すなわち約10倍にすることができる。このため、光ファイバ出力端での単位面積あたりの強度が $1/10$ に減少させられるので、破壊限界を約10倍にする事ができる。

【0163】出力側端末124から出力したレーザパルスはさらに第2の4分の1波長板を通過する。このとき、第2の4分の1波長板124では円偏光が直線偏光になるように調整されている。よって、第2の4分の1波長板125からの出力レーザパルスは、直線偏光で、かつ分散補償によりパルス幅がレーザ発振器から出力されたものと同様に短くなっているため、ピーク強度が高くかつ直線偏光状態である。従って、生体科学、リソグラフィなどの産業分野に利用するときには都合である。

【0164】なお、出力レーザビームの出力側に出力光を平行光に調整するレンズを設けても良く、この場合、4分の1波長板124はこのレンズの後方に設けても良い。

【0165】この発明のレーザ装置は、レーザ発振器と群速度分散制御部と伝送部の一端とが共通の支持体上に固定されており、可搬型の小型の1つの筐体に実装されている。レーザ装置を構成する各光学ユニット間の光軸調整は既に完了した状態になされており、アライメントフリーになっている。また、伝送部の出力用光ファイバの長さを用途に合わせて変えたり、使用する波長を変える必要のある用途の場合にも、自在に対応できるものである。これら各光学ユニットと支持体とは、共通の1つの筐体の内部に収められており、各光学ユニットがワンパッケージ化（一体化）された状態で提供される。そして、このような一体化構造による、各光学ユニットの温度環境が共通化され、しかも、従来のように、各光学ユニットを光学ベンチ上に配置して、ユーザが光軸調整を行う必要がなく、直ちにパルス幅がりの無い短パルス光を使用することができる。

【0166】

【発明の効果】この発明のレーザ装置によれば、伝送部のコリメータの前段に4分の1波長板を配置するとともにレーザ発振器と群速度分散制御部の分散制御ユニットとの間にビームエキスパンダを配置したレーザ発振器と群速度分散制御部と伝送部の一端とが共通の支持体上に固定されている。このようなレーザ装置は各厳しい条件のために、従来はレーザ発振の安定性を保つことが難しく、実用化は困難と見なされていたが、本発明によつ

て、小型で安定性の高いレーザ装置を工業レベルで提供することが可能になった。

【0167】各光学ユニット間の光軸調整は既に完了した状態になされている。そして、これら各光学ユニットと支持体とは、共通の筐体の内部に収められている。よって、各光学ユニットがワンパッケージ化（一体化）された状態で提供される。このような一体化構造によれば、各光学ユニットの温度環境が共通化される。しかも、各光学ユニットを光学ベンチ上に配置して、光軸調整を行う手間が省ける。ユーザは、光軸調整を行う必要がなく、直ちにパルス幅がりの無い短パルス光を使用することができる。

【0168】この発明の上記のような長所から、この発明によるレーザ装置は、可搬型で、難しい調整を必要とせず、非線形光学効果が有効に機能する対象物に光ファイバから超短パルス光を直接導入することができるため、光通信における光-光ルータの光源として、従来のレーザダイオードと置き換えて利用することができ、また、別の用途として、2格子吸収のリソグラフィ用の光源として用いることができる。さらに別の用途として、2格子吸収顕微鏡の光源としても用いることができるなど、この発明の利用可能性は極めて広いものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態のレーザ装置の構成を示す図で、(A)はレーザ装置を上から見た図、(B)はレーザ装置を側方から見た図である。

【図2】筐体の構成を示す図で、(A)は側面図で、(B)は正面図である。

【図3】支持体と筐体との結合の様子を示す図である。

【図4】支持体の構成を示す図である。

【図5】レーザ発振器の構成を示す図である。

【図6】群速度分散制御部の構成を示す図である。

【図7】群速度制御部と伝送部を説明する図である。

【図8】位置決め機構の例を示す図で、(A)は光学素子用ホルダを下から見た図、(B)は支持板の主面の一部を示す図である。

【図9】別の群速度分散制御部の構成を示す図である。

【図10】伝送部の光ファイバの入力側と出力側に1/4波長板を用いた例を説明する図である。

【符号の説明】

10：レーザ発振器

12：群速度分散制御部

14：伝送部

14a：SMF

16：支持体としての支持板

16a, 16b, 16c：掘削された部分

18：筐体

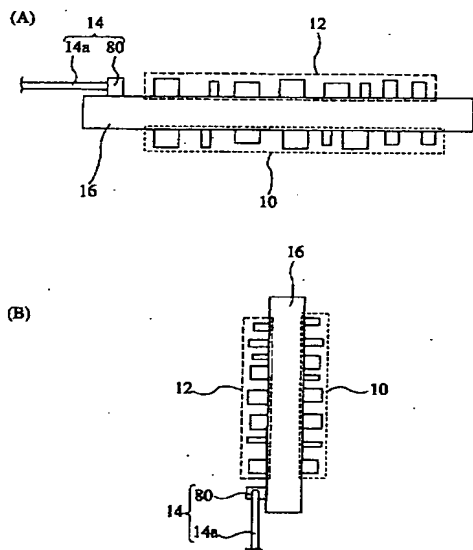
20, 22：板

24：パイプ

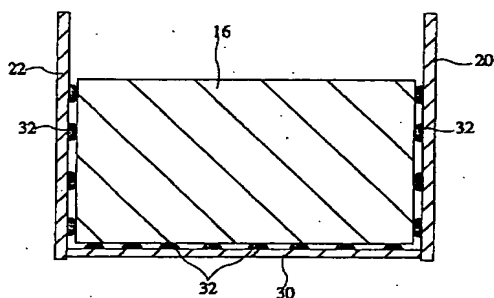
26 : 外装板
 28 : 励起光源
 30 : 架橋板
 32 : 振動吸収体
 34 : 中空パイプ
 36 : ドライバ
 38, 40 : 励起光導入用ミラー
 42 : $Ti:Al_2O_3$ 結晶
 44 : T. E. Cドライバ
 46a, 46b, 46c, 46d : チャープミラー
 48 : 出力ミラー
 50 : 終端ミラー
 52 : スタータ
 53 : 波長板
 54 : ソレノイド
 55 : 励起光集光レンズ
 56, 58, 72 : 凹面鏡
 57 : フォトダイオード
 60 : ミラー

61 : 貫通孔
 62, 66 : 直角プリズム
 62a : 一部を切り欠かれたプリズム
 62b : プリズムの切欠き部分
 64 : 回折格子
 68, 74, 76, 78, 503, 504 : 平面鏡
 70 : 凸面鏡
 80, 108 : コリメータ
 82 : 圧縮ユニット
 84 : 光学素子用ホルダ
 86 : 凸部
 88 : 凹部
 101 : 音響光学素子
 103, 104 : 反射板
 105, 120, 125, 505 : 4分の1波長板
 109, 123 : 光ファイバ
 121, 501, 502 : レンズ
 124 : 出力端末
 506, 507 : 矢印

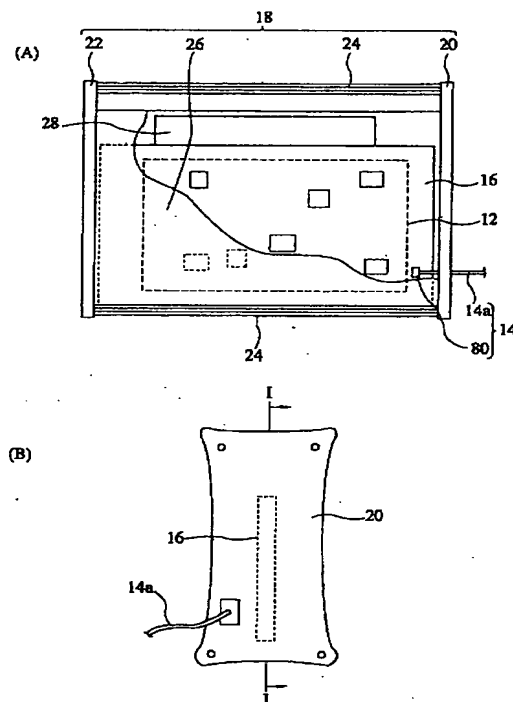
【図1】



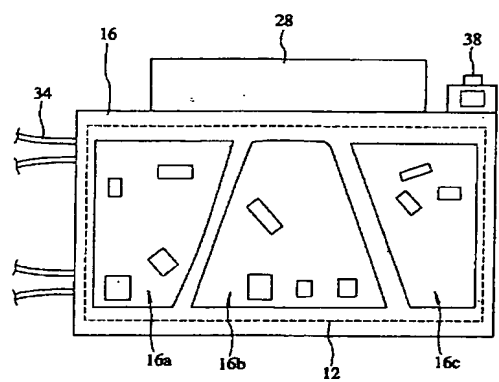
【図3】



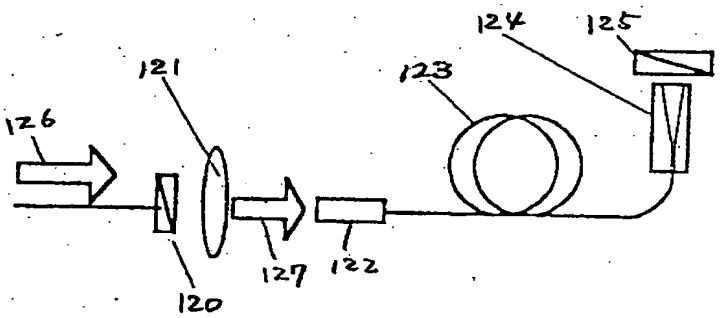
【図2】



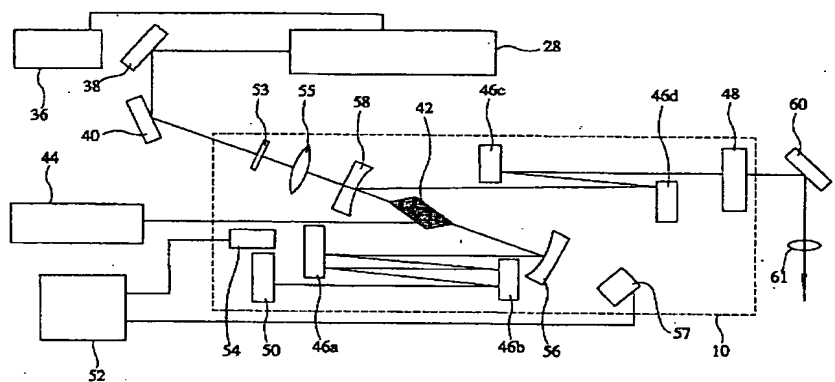
【図4】



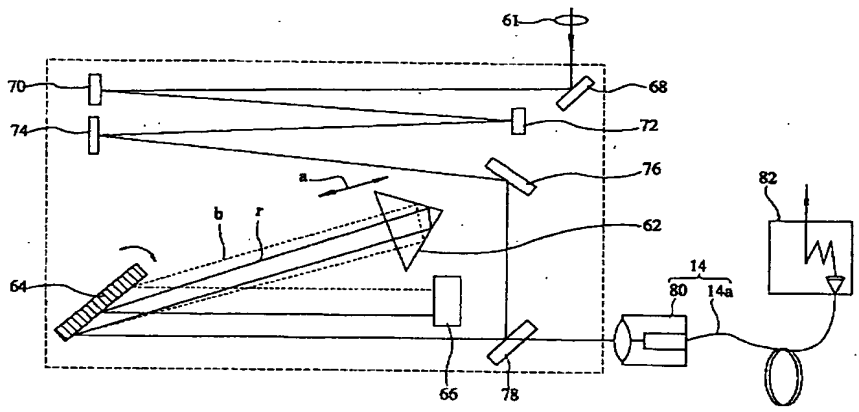
【図10】



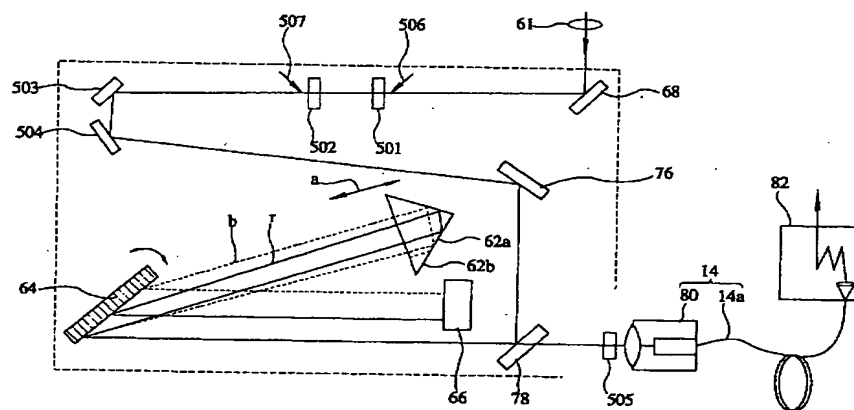
【図5】



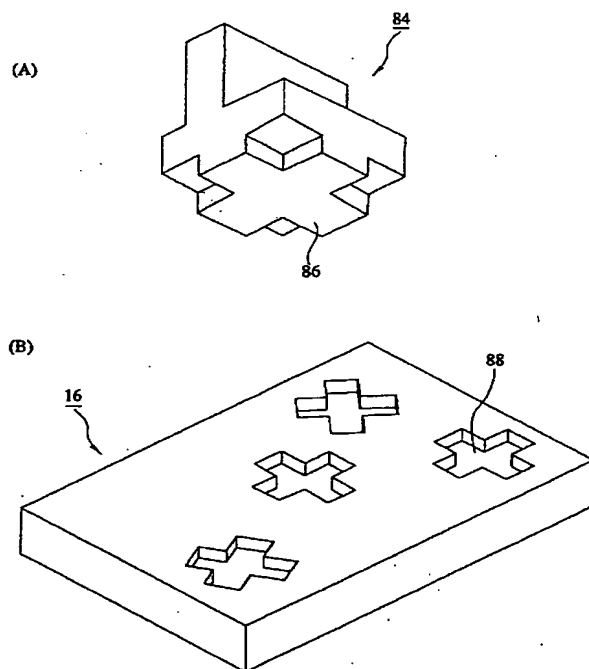
【図6】



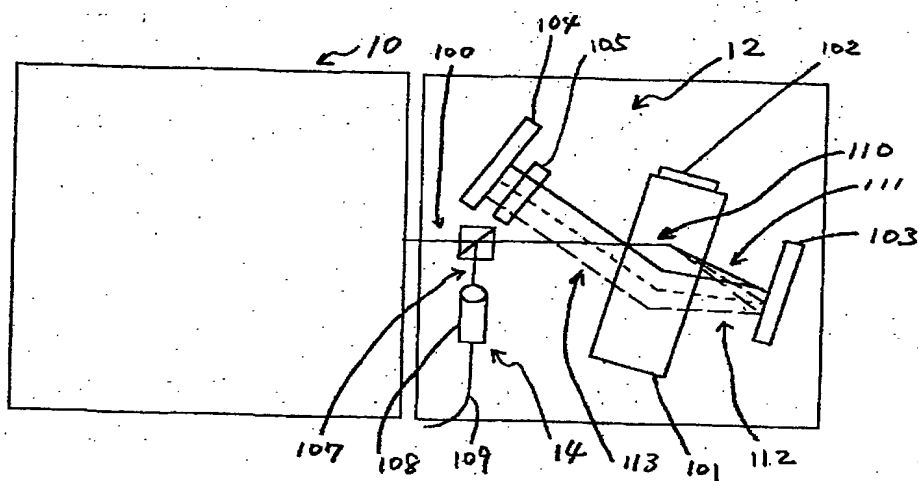
【図7】



【図8】



【図 9】



フロントページの続き

(72) 発明者 奥野 雅史

埼玉県戸田市新曽南3丁目1番23号 株式会社応用光電研究室内

(72) 発明者 渡部 明

埼玉県戸田市新曽南3丁目1番23号 株式会社応用光電研究室内

(72) 発明者 田中 佑一

埼玉県戸田市新曽南3丁目1番23号 株式会社応用光電研究室内

(72) 発明者 坪谷 博

埼玉県戸田市新曽南3丁目1番23号 株式会社応用光電研究室内

Fターム(参考) 2H037 BA03 CA13 CA15 CA21 CA31
CA37 DA11

2H043 AE23

5F072 AB01 AB20 HH02 KK05 KK07

KK12 KK30 MM08 MM16 MM20

QQ02 SS08 SS10 TT28